FEM 시뮬레이션 프로그램을 이용한 타이어 변형률 센서 성능 보완

김종인*, 최범규**
서강대학교, 기계공학과

Supplementation of Tire Strain Sensor Performance by FEM Simulation Program

JongInn Kim*, BumKyoo Choi**
Sogang University, Mechanical Engineering

Abstract - 이 논문은 타이어 변형량을 측정하는 변형량 센서의 시제품을 modeling하여 COMSOL Multiphysics FEM 해석 프로그램을 통해 시뮬레이션을 수행한 것을 다룬 것이다. 센서의 구조 중에 센서의 성능에 큰 영향력을 미치는 구조를 변수로 잡아 각 변수에 따른 센서의 capacitance의 linearity와 sensitivity을 시뮬레이션을 통해 도출했다. 도출한 값을 토대로 센서 구조에 대한 최적의 범위를 구하고 센서의 시제품의 구조 변수의 값이 이 범위 내에 있는 것을 보여 시제품의 성능에 대한 검증했다.

1. 서 론

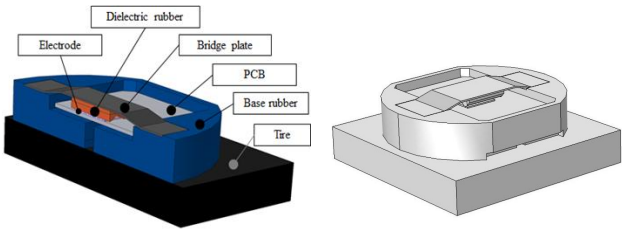
I-Tire(Intelligent Tire) 센서는 변형량을 측정하기 위해 제작된 센서로, 타이어에 부착해 타이어의 변형량 정도를 capacitance 값을 통해 측정한다. 이렇게 측정된 값을 무선으로 받는다면 운전자가 실시간으로 타이어의 상태를 모니터링 하는 것이 가능하다. 이러한 용도로 쓰일 센서에 대한 프로토 타입 형식의 시제품이 만들어졌으나 이 시제품에 대한 검증작업이 수행되지 않았다. 이 논문에서는 모델링과 시뮬레이션을 통해 이 시제품에 대한 성능을 검증하였고 또한 시제품의 주요 구성 부분에 대한 변수를 설정해 시제품의 구조 변수에 대한 최적의 범위를 도출해내는 작업을 진행했다.

2. 본 론

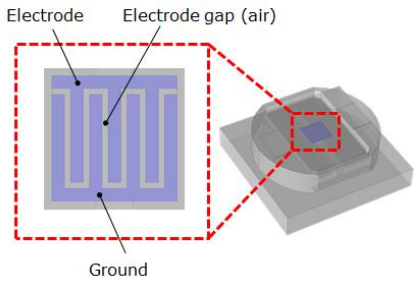
2.1 Setup for Simulation

2.1.1 모델링

프로토타입으로 제작된 시제품의 사이즈에 맞춰 3D 모델링을 진행했다. 모델링을 진행한 후, 각 부품에 대한 물성치를 시제품의 재료와 동일하게 적용했다.



〈그림 1〉 타이어 변형량 센서 형상 및 재질(좌)
FEM 시뮬레이션 내의 3D 모델링 형상

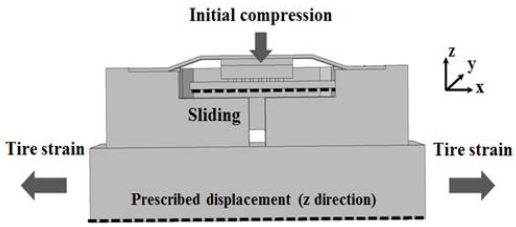


〈그림 2〉 타이어 변형량 센서의 전극 구조

Material	Part	Young`s modulus [MPa]	Density [kg/m³]	Poisson ratio, ν	Relative permittivity	Mooney-Rivlin constant (c10, c01)
FR4	PCB	22000	1900	0.28	4.5	-
EPDM40[1]	Dielectric rubber	1.7	1126	0.49	7	493MPa, 123MPa
STS304	bridge plate	193000	8027	0.25	-	-
Copper	Electrode	110000	8700	0.35	-	-
EPDM70[1]	Base mold	9.8	1090	0.49	-	493MPa, 123MPa
Textile Belt	Tire	3400	1043	0.3	-	-

〈그림 3〉 타이어 변형량 센서의 재료 물성치

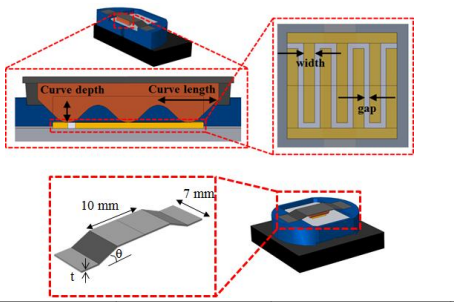
2.1.2 경계조건



〈그림 4〉 타이어 변형량 센서 경계조건

타이어 변형량 센서에 대한 시뮬레이션의 경계조건은 위의 그림과 같다. 타이어에 발생하는 변형량을 고려해주기 위해서 양쪽으로 변형량(strain)을 설정했다. 설정한 strain의 범위는 -8%에서 8%의 범위로 설정했다. 밑면의 경우 완전히 타이어에 부착된다고 가정해 고정시키는 조건을 설정했다. 타이어 내부에 부착되면서 내부 부품에 의해 센서가 부과되는 하중을 고려하기 위해 Initial compression으로 8.17kPa을 설정했다.

2.1.2 해석변수



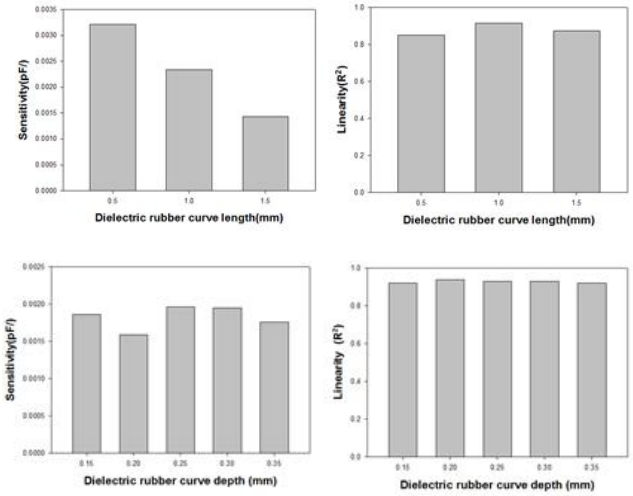
Dielectric rubber Curve		Bridge plate		Electrode	
Depth	Length	Thickness, t	Angle, θ	Width	Gap
0.15~0.35 mm	0.5~1.5mm	0.12~0.32 mm	10°~20 °	0.3~0.7 mm	0.15~0.35 mm

〈그림 5〉 해석 변수와 해석 변수의 설정 범위

해석 변수 설정의 경우 위의 그림 5와 같이 센서의 중요한 세 부분에서 각각 두 가지 방식으로 변수를 잡아 총 6개의 변수를 설정했다. 해석 변수 중 하나를 나머지 변수를 고정한 상태로 범위 내에서 바꾸면서 해석을 진행했다.

2.2 Result

2.2.1 Dieletric rubber Curve

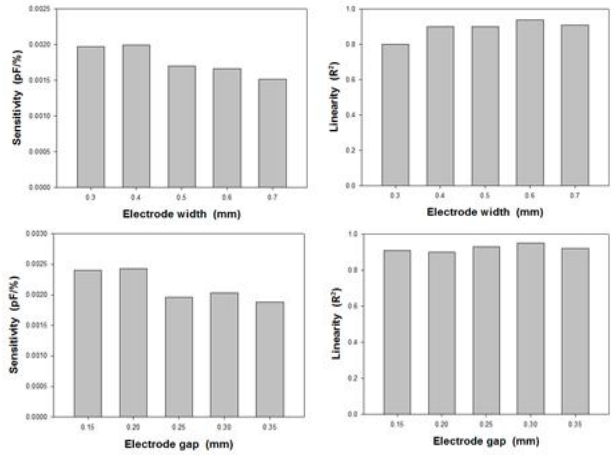


<그림 6> Dieletric rubber curve의 length(위)와 depth(아래)에 따른 sensitivity와 Linearity

그림 6을 보면 알 수 있듯이, dieletric rubber curve length의 크기와 센서의 sensitivity는 반비례 함을 알 수 있다. 그러나 length가 linearity에 미치는 영향은 크지 않음을 알 수 있다.

dieletric rubber curve depth의 경우에는 sensitivity는 큰 경향성을 보이지는 않지만 depth의 크기가 0.25 mm 일 때 가장 큰 sensitivity를 보임을 알 수 있다. linearity의 경우, depth가 미치는 영향이 작음을 확인할 수 있다.

2.2.2 Electrode



<그림 7> Electrode의 width(위)와 gap(아래)에 따른 sensitivity와 Linearity

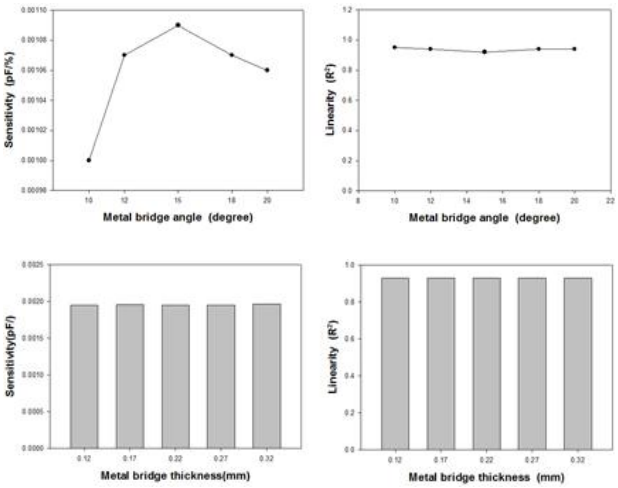
그림 7을 보면 알 수 있듯이, electrode width의 크기와 sensitivity의 경향성이 눈에 띄지는 않지만 width가 0.4 mm일 때 sensitivity가 가장 크다는 것을 알 수 있다. linearity의 경우에는 큰 영향을 미치는 것을 확인했다.

electrode gap의 경우, 크기와 sensitivity의 경향성은 보이지 않지만 0.2 mm일 때 가장 큰 sensitivity 값을 가짐을 확인했다. linearity는 gap의 크기가 큰 영향을 미치지 않았다.

2.2.3 Metal bridge plate

그림 8을 보면 알 수 있듯이, bridge의 각도가 15도일 때 가장 높은 sensitivity를 가지고 다시 감소한다. linearity의 경우, 각도에 따라 큰 변화가 없음을 확인할 수 있다.

metal bridge plate의 두께의 경우, 그 크기에 따라 sensitivity나 linearity에 큰 영향을 미치지 않는다.



<그림 8> Metal bridge plate의 angle(위)와 thickness(아래)에 따른 sensitivity와 Linearity

3. 결 론

여러 해석 변수에 대해 크기에 따른 sensitivity와 linearity를 구했는데, 센서의 성능은 sensitivity가 결정하기 때문에 sensitivity를 기준으로 해석 변수의 최적의 범위를 도출했다. 이를 실제 시제품의 값과 비교했다.

Design variable	Dielectric rubber Curve (mm)		Electrode (dimensionless)	Metal bridge	
	depth	length	width / gap	Angle(degree)	Thickness(mm)
해석 결과	0.25~0.3 mm	0.5~1.0 mm	1.6~2.5 (average : 2.05)	15	0.2~0.25
시제품	0.25 mm	1.0 mm	2	15	0.22

<그림 8> 시뮬레이션을 통한 각 해석 변수의 최적 범위와 시제품의 크기 비교

위의 그림을 보면 알 수 있듯이 시뮬레이션의 결과를 토대로 정한 최적 범위에 시제품의 실제 크기가 모두 포함되어 있다. 이는 시뮬레이션을 통해 시제품의 성능을 검증됐음을 알 수 있다.

[참 고 문 헌]

[1] D. Felhos, K. Varadi, T. Goda, Viscoelastic characterization of an EPDM rubber and finite element simulation of its dry rolling friction, eEXPRESS Polymer Letters Vol. 2, No. 3 (2008) 157-164